

A lég- és talajhőmérsékleti viszonyok együtváltozásának vizsgálata a hóborítottság és talajfagy mértékének alapján a Bükk-fennsíki Mohos-töbörben

The correlation analysis of air and soil temperature based of the snow covering and the soil frost, at the Mohos sinkhole, Bükk platou

DOBOS András

Miskolci Egyetem, Földrajz-Geoinformatika Intézet,
H-3515 Miskolc-Egyetemváros, HU, tel: +36-305285901, dobosbandi@hotmail.com

Abstract

The investigation of soil temperature ($T_{(s)}$) based on snow cover and soil frost is followable in a microclimatic environment by the interactions of higher influencing factors. The temporal, spatial, qualitative and quantitative distribution of the seasonal snow covering determines the exposure of the near-surface soil layer to the external air temperature. The cold microclimate of the Mohos sinkhole (Hungary) makes the research area the natural laboratory to analyze the atmospheric-surface interactions, based on snow depth.

Keywords: sinkhole, microclimate, soil temperature, snow covering, temperature inversion

Kulcsszavak: töbör, mikroklíma, talajhőmérséklet, hótakaró, hőmérsékleti inverzió

1. BEVEZETŐ

A töbrök tál alakú, homorú, oldódásos úton keletkező felszíni karsztformák. A lefolyástalan orográfiai közegek generálta (a tanulmány esetében töbrök) mikroklímarendszerek eredményeként kiépülő felszínközeli inverziós légrétegződés (ún: hideg légtó) hatásaként a talajtakaró felső rétegei rendkívül kitettek a töbrön belül gyorsan változó, esetenként szélsőségesen alacsony léghőmérséklet hatásának. A töbrök mikroklímájának (harmadlagos mikroklímarendszer) fő jellemzője a környezeténél jóval hidegebb hőmérsékleti értékek jelenléte [8] és a hőmérsékleti viszonyok gyors, jelentős változása. Ezért a kölcsönhatások hatványozottan, markáns módon vannak jelen. A felszínközeli talajhőmérséklet ($T(s)$) legfőbb alakító tényezője az azzal kölcsönhatásban álló felszínközeli légréteg(ek) hőmérséklete [6]. A szezonális hóborítottsággal jellemezhető területeken a hótakaró hiánya vagy jelenléte jelentősen befolyásolja a felszínközeli talajrétegek hőmérsékletét, a hótakaró minőségi tényezőinek függvényében. A hó alacsony hővezető képessége jó hőszigetelővé teszik a felszínt borító hóréteget, így annak térbeli, időbeli jelenléte befolyásolni fogja a talajtakaró napi léghőingásnak kitettebb felső rétegeit [10]. A hótakaró a talajtakaró napi hőjárását csökkenti, és annak további időbeli eltolódását okozza a léghőmérséklet napi járásához képest. A talajhőmérsékletre hatással levő pillanatnyi külső meteorológiai tényezők, felhőborítottság, lokális légköri dinamika, a léghőmérsékleti inverzió kezdeti állapotakor uralkodó külső hőmérsékleti viszonyok, rendszer szinten fejtik ki hatásukat a talajtakaró felső rétegeire [1] [2] [4] [5] [7] [9]. Mackiewick a hóborítottság talajhőmérsékletre tett hatásának alapegyenletét az MLRA módszer segítségével [6] következőképpen fogalmazta meg (1.ábra):

$$z = 1 \quad T(s) = (\beta_0 + \beta_2) + (\beta_1 + \beta_3) x$$

$$z = 0 \quad T(s) = \beta_0 + \beta_1 x$$

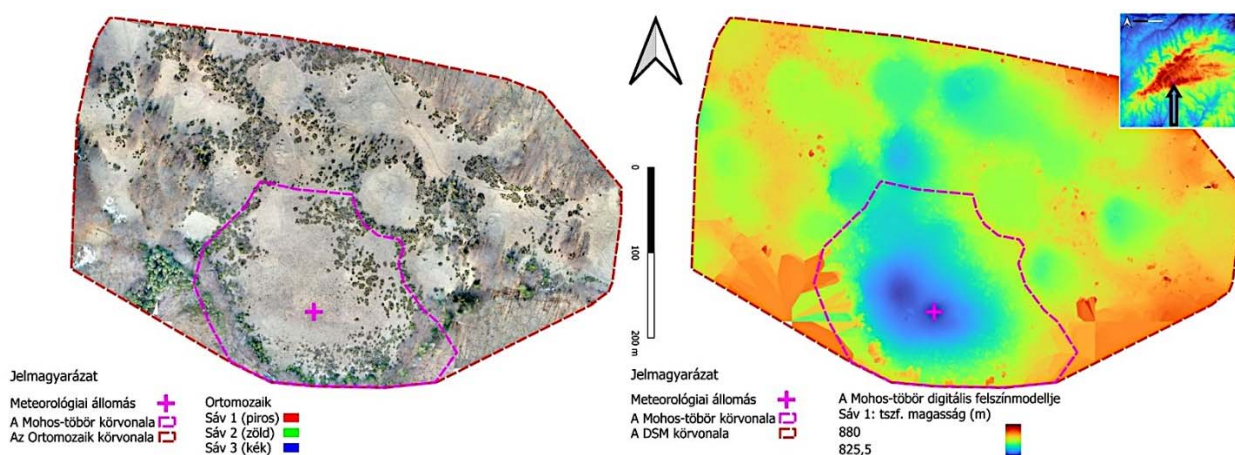
1. ábra. A talajhőmérséklet léghőmérséklet alapján történő (MLRA) becslése hótakaró mellett és anélkül [6]

Ahol $T(s)$ =talajhőmérséklet, $\beta_0, \beta_1, \beta_2$ a regressziós változók, x a léghőmérséklet a z pedig egy fiktív prediktorváltozó, amely a hóborítottság meglétének függvényében $z=0$ (nincs hótakaró) vagy $z=1$ (van

hótakaró) [6]. A cikk a Bükk-fennsíki Mohos-töbörben különböző reprezentatív időszakokban rögzített meteorológiai és talajhőmérsékleti adatokat elemzi az adott periódust jellemző hóboritottság alapján.

2. VIZSGÁLT TERÜLET JELLEMZÉSE

A vizsgált terület az ÉNy-i Kárpátokon belül az É-magyarországi-khg. részét képező Bükk-hg. karszt-fennsíkján helyezkedik el, a Nagy-fennsík DNy-i részén, a Zsidó-réten D-i harmadában. A mérések centrumterülete a Mohos-töbör töbörálja (tszf. 825,5m) ahol állandó léghőmérsékleti (2m, a tanulmány mérési magassága) és talajhőmérsékleti (-5cm, a tanulmány mérési mélysége) adatrögzítés zajlik egy iMETOS 3.3-as meteorológiai mérőállomás működtetésével. A Mohos-töbör egybefüggő talajtakaróval borított dolina (vékony rendzinák és lejtőhordalékok lokális váltakozása), növényzete az inverz léghőmérsékleti viszonyokhoz igazodik. A Mohos-töböráljtól a magasabb térszinek felé haladva az átlagléghőmérséklet kis területen jelentős diverzitást mutat. 35 méteren belül váltják egymást a havasi, hidegtűrő reliktum fajokat is tartalmazó gyepes, borókás és fenyves társulások, majd a hőmérsékleti viszonyok normalizálódását követően a montán bükkösök (2. ábra-bal oldal). A vizsgált terület lépcsőzetesen minden irányból a Mohos-töbör ikeraljzatának déli tagja felé lejt (2. ábra-bal oldal). Kisugárzási szempontból megfelelő körülmények esetén (derült, szélcsendes időjárás az éjszakai napszakban) a felszínközeli, hidegebb légrétegek sűrűségükből adódóan, gravitációs úton a terület lokális depresszióját jelentő Mohos-töbörálj irányába mozdulnak el ahol felhalmozódnak, sűrűségük szerint, inverz módon rétegződnek. A mérések a lokális hideg légtömegek akkumulációs zónájában történnek (2.ábra).



2. ábra

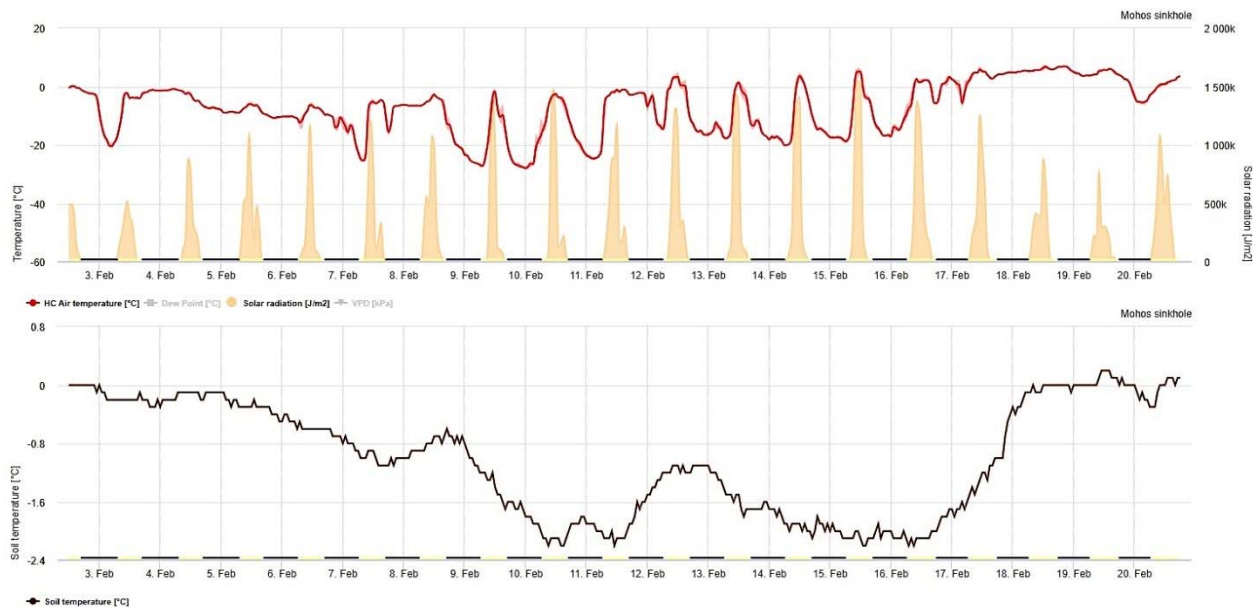
A Mohos-töbör és mikroklímarendszerének ortomozaik felvétele és digitális felszínmodellje (DSM)

3. EREDMÉNYEK

3.1. A lég- és talajhőmérséklet együttváltozásának mértéke 35cm-es hótakaró esetén

2023 februárjának első felében 30-35 cm-es hótakaró borította a Bükk-fennsíkot, a borókások és a töbörálj környezetében helyenként 40 cm. A hótakaró egy fagyott, ellenálló 5 cm-es felső, és egy porhó állagú 3 cm-es alsó szintből állt. Február 10-17-e között jellemzően anticiklonális, az inverziós légrétegződés (töbrök esetében ún. hideg légtó) kiépülésének szempontjából kedvező körülmények uralkodtak a vizsgált terület térségében (3.ábra). A napi léghőmérsékleti minimum 7 esetben -20°C alatt állt be. A talajhőmérséklet belépő értéke $T(s)=0^{\circ}\text{C}$ volt. 4-étől a talajhőmérséklet lassú, lineáris eséssel jellemezhető. A 7-i $T\text{-min.}=-25,7^{\circ}\text{C}$ -os kései inverziós kiépülés után 8-án a $T(s)$ -1°C alá esett. Ezt követően rövid visszamelegedés után a $T(s)$ 11-ére $-0,6^{\circ}\text{C}$ -ról $-2,4^{\circ}\text{C}$ -ra csökkent. Ezután egy rövid, légkörileg dinamikusabb periódusban a $T(s)$ -1°C -ig emelkedik és február 13-ától a nagy napi T ingadozás és a $T\text{-max.} \geq 0^{\circ}\text{C}$ -ok ellenére a $T(s)$ tendenciálisan visszahűl, és 16-án újra eléri a periódus minimumértékét, ahol a $T(s)\text{-min.}=-2,4^{\circ}\text{C}$. 17-én a zonalitás megerősödik és a fagyott felszínközeli talajréteg hőmérséklete 2 nap alatt $2,4^{\circ}\text{C}$ -ot emelkedik, majd a zérust elérve, $+5^{\circ}\text{C}$ körüli konstans léghőmérséklet mellett $0-0,2^{\circ}\text{C}$ között áll be. Az olvadó hóréteg pufferkapacitást veszít, így a vizsgált töbörben kialakuló, 20-i, rövid életű és csekély mértékű léghőmérsékleti inverzió közvetlen hatása is megfigyelhető a diagramon. Az alfejezet által vizsgált periódusban a vastag, ellenálló hótakaró hőszigetelő hatására

a jelentős napi léghőmérsékleti amplitúdó ellenére a talajhőmérséklet napi járása jellemzően kimaradt, az időszakosan lassú, állandó hűléssel volt jellemezhető. A $T(s)$ csökkenésének esetei a több napon át tartó, alacsony $T_{\min.}$ -eknek és a napközbeni visszamelegedés hiányának voltak köszönhetőek. Az időszak T szélsőértékei $+6^{\circ}\text{C}$ és $-28,2^{\circ}\text{C}$, $T(s)$ szélsőértékei pedig $+0,2$ és $-2,4^{\circ}\text{C}$. Az abszolút hőingás a $T=2$ m esetében $34,2$, a $T(s)=-5$ cm esetében $2,6^{\circ}\text{C}$ voltak. A talaj-légkör energiacsere redukált volt (3.ábra).



3. ábra

A Mohos-töbörárlóban detektált lég- és talajhőmérséklet együttváltozásának mértéke 2023.02.02,12:00-02.20, 12:00 között, 35cm-es átl. hóborítottság mellett. Az ábrán a léghőmérsékletet (2m, $T^{\circ}\text{C}$) a piros, a talajhőmérsékletet (-5cm, $T(s)$ $^{\circ}\text{C}$) a fekete, a besugárzást (2m, J/m^2) pedig a narancssárga diagram jelöli, 10 perces felbontásban.

3.2. A lég- és talajhőmérséklet együttváltozásának mértéke 2-4 cm-es hótakaró esetén

2024 január 19-én egy gyorsan mozgó, hullámzó frontrendszerből lepel-4 cm hó hullott az É-mo-i. khg. térségében. A csapadékeseményt követően a légköri dinamika csökkent, az inverziós légrétegződés kiépülésének feltételei adottá váltak a Mohos-töbör áramlási rendszerében. Az időszak 4db. jól elkülöníthető szakaszra bontható: 1-es:19-25; 2-es:25-28; 3-as:28-01; 4-es 01-06 (4.ábra).

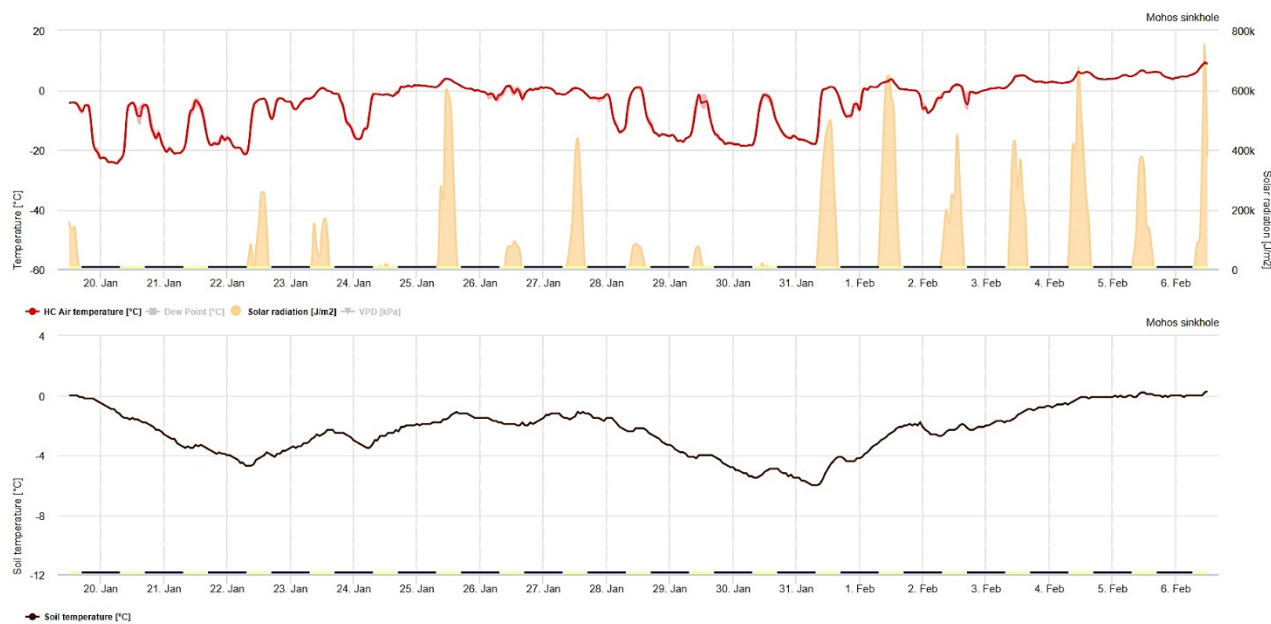
Az 1. szakasz esetében volt a legépebb a frissen hullott hótakaró. A 4 cm-es egybefüggő hóréteg hőszigetelő hatása egyértelmű, de jelentősen enyhébb mint a 3.1-es alfejezet által vizsgált 35 cm-es hótakaró esetén. Az egybefüggő vékony hóréteg ez esetben is jelentősen növelte a felszíni albedót, így a hőmérséklet 4 naptári napon is -20°C alá esett. A hóréteg redukált hőszigetelő hatása mellett az 1.eset $T(s)_{\min.}$ -je $-4,6^{\circ}\text{C}$ -on állt be, 1 óra 30 perces késleltetés mellett a -22°C -os napi $T_{\min.}$ -hez képest. Az 1.időszak $T(s)$ minimuma nem a $T_{\min.}$ napján, hanem a töbör mikroklímatis optimum időszakának utolsó inverziós kiépülését követően állt be. Az 1-es időszak során a talajhő tendenciálisan csökkent, napközben is csak stagnálásig lapult a $T(s)$ görbe (4.ábra).

A 2. szakasz egy magasabb légköri dinamikával jellemezhető időszak, mely során a vizsgált töbör mikroklímarendszere nem érvényesült. A T fagypont, a $T(s)$ pedig -1°C körül stabilizálódik.

A 3-as időszak hótakarójának minősége a megelőző időszakok szublimációja során romlott, 2-4 cm-ben adható meg annak vastagsága. Az időszak légköri dinamikája alacsony volt, a hideg légtömeg kiépülése közel zavartalan napi T görbék [3] [4] és $-15, -18^{\circ}\text{C}$ -os napi $T_{\min.}$ -ek mellett a 3-as szakasz minden naptári napján megtörtént. A romló hóminőség továbbra is növelte a felszíni albedót, de hőszigetelő hatása alacsony, közel zérus volt. Ilyen esetekben a felszín kisugárzási potenciálja növekszik, alacsony $T_{\min.}$ -eket generálva, a talajtakaró felszínközeli rétegei (mérési mélység: -5cm) pedig kitetté válnak a töbör mikroklímarendszer

(hóborítottság nélkül is) markáns lokális hűtő hatásának (4.ábra). A 3-as szakaszban a légkör-felszín energiacsere felerősödik, a $T(s)$ tendenciális csökkenése mellett a T napi járásához képest késleltetett, (1,5-2 óra) rövid, enyhén csúcsos emelkedések figyelhetők meg a $T(s)$ görbében. A lépcsőzetes csökkenés $T(s)=-6,2^{\circ}\text{C}$ -on éri el a szakasz minimumát, $-18,5^{\circ}\text{C}$ -is napi T -min.-t követően.

A 4. szakaszban az újból megerősödő légköri dinamika hatására a T jellemzően fagypont fölé kerül, így a hótakaró megszűnik. A $T(s)$ fokozatosan nulláig emelkedik, ahol a talajfagy a magas léghőmérséklet ellenére nem engedi tovább melegedni a vizsgált talajréteget. Így a fagyott talajréteg a talajfagy felengedéséig $T(s)=0^{\circ}\text{C}$ -on állandósul, napi hőingás nélkül, szabályos napi besugárzás (J/m^2) mellett. Az időszak T szélsőértékei $+8,7^{\circ}\text{C}$ és $-24,9^{\circ}\text{C}$, $T(s)$ szélsőértékei pedig $+0,2$ és $-6,2^{\circ}\text{C}$. Az abszolút hőingás a $T=2$ m esetében $33,6$ a $T(s)=-5$ cm esetében $6,4^{\circ}\text{C}$ voltak (4.ábra).

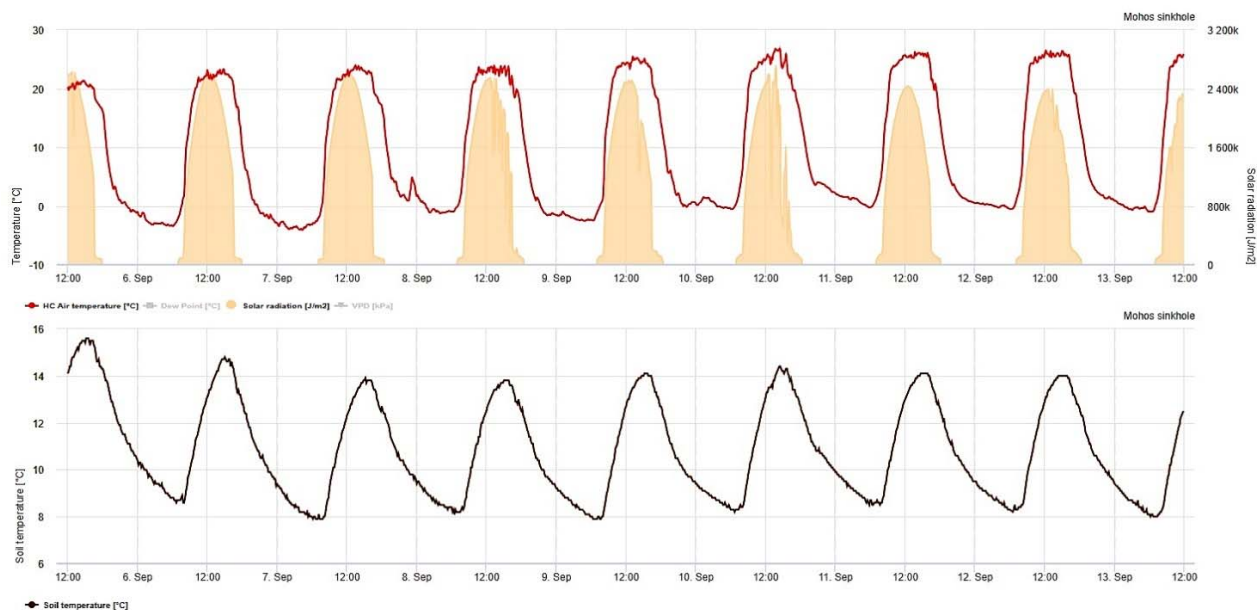


4. ábra

A Mohos-töbrőljban detektált lég- és talajhőmérséklet együttlváltozásának mértéke 2024.01.19,12:00-02.06, 12:00 között, 2-4 cm-es átl. hóborítottság mellett. Az ábrán a léghőmérsékletet (2m, $T^{\circ}\text{C}$) a piros, a talajhőmérsékletet (-5cm, $T(s)$ $^{\circ}\text{C}$) a fekete, a besugárzást (2m, J/m^2) pedig a narancssárga diagram jelöli, 10 perces felbontásban. A frissen hullott hótakaró torzíthatja a besugárzási adatokat.

3.3. A lég- és talajhőmérséklet együttlváltozásának mértéke hótakaró nélkül, magas nappali besugárzás mellett

2023 szeptemberének első fele hótakarómentesen, túlnyomóan napos, derült, anticiklonális időjárás mellett telt el, ami kedvezett a hőmérsékleti inverzió sorozatos kiépülésének a Mohos-töbrben. A T görbe általánosan zavartalan napi kiépülésről tanúskodik [3][4] (5.ábra). A be és kisugárzási időszakok váltakozása szabályos volt, a napi besugárzási csúcstérték 10 perces időszakokra bontva meghaladta a $2\,000\,000$ J/m^2 -t. A radiáció mérséklődésével, majd megszűnésével a töbrön belül kiépült a hideg légtó.



5. ábra

A Mohos-töböráljban detektált lég- és talajhőmérséklet együttlváltozásának mértéke 2023.09.05, 12:00-09.13, 12:00 között, hótakaró nélkül. Az ábrán a léghőmérsékletet (2m, $T(^{\circ}\text{C})$) a piros, a talajhőmérsékletet (-5cm, $T(s)$ $^{\circ}\text{C}$) a fekete, a besugárzást (2m, J/m^2) pedig a narancssárga diagram jelöli, 10 perces felbontásban.

A vizsgált periódus jellege homogén, egy szakaszként kezelhető. A napi T -max. minden esetben meghaladta a $+20^{\circ}\text{C}$ -t, míg a T -min. fagypontra süllyedt. A napi $T(s)$ -min. 1-3 óra eltolással követte a T -min.-t. A $T(s)$ napi járása szabályos, a T -hez igazodik, átlagos amplitúdója meghaladta a 6°C -t. Talajfagy esete nem állt fenn, így a T hatása közvetlen volt a vizsgált, felszínközeli talajrétegre. A légkör és a talajtakaró energiacsere zavartalan volt, így a T és a $T(s)$ görbék együttlváltozása órai lebontásban is szignifikáns. Az időszak T szélsőértékei $+25,7^{\circ}\text{C}$ és $-4,1^{\circ}\text{C}$, $T(s)$ szélsőértékei pedig $+15,3$ és $+7,9^{\circ}\text{C}$. Az abszolút hőingás a T esetében $29,8$ a $T(s)$ esetében $7,4^{\circ}\text{C}$ voltak (5.ábra).

3.4.A lég- és talajhőmérséklet együttlváltozásának korrelációanalízise

Az 1. táblázat a T és a $T(s)$ korrelációanalízisét tartalmazza a 3.1-3.3 alfejezetek tematikáját követve, 35, 2-4 és 0 cm-es hótakaró jelenléte mellett. A vizsgált hóborítottsági kategóriák szerint megállapított T - $T(s)$ együttlváltozásának mérőszámai a korrelációanalízis minden osztályába jelen vannak. 35 cm-es átlagos hóborítottság esetén a T - $T(s)$ korrel=0,29, ami gyenge együttlváltozásra utal a hótakaró rossz hővezető képességének köszönhetően. 2-4 cm-es átlagos hóborítottság esetén a T - $T(s)$ korrel=0,58, ami közepes mértékű együttlváltozást jelent. Ebben az esetben a talajtakaró és a felszínközeli léghőmérséklet kölcsönhatása erősebb, mint vastagabb hótakaró jelenléte mellett. A hómentes vizsgált esetben a T - $T(s)$ korrel=0,81, ami erős korrelációt jelez. A hóborítottságtól mentes talajtakaró közvetlenül ki van téve a léghőmérséklet markáns változásának és a besugárzási viszonyoknak a töbrön belül, így a felszín-légkör energiacsere ebben az esetben a legdirektebb.

1. táblázat. A $T(2\text{m})$ és a $T(s)(-5\text{cm})$ korrelációanalízise 35 cm-es, 2-4 cm-es ill. 0 cm-es hótakaró esetén, a Bükk-fennsíki Mohos töbrben

1. eset korrelációanalízise	Léghőmérséklet 35 cm hóborítottság esetén [$^{\circ}\text{C}$]	Talajhőmérséklet 35 cm hóborítottság esetén [$^{\circ}\text{C}$]	2. eset korrelációanalízise	Léghőmérséklet 2- 4 cm hóborítottság esetén [$^{\circ}\text{C}$]	Talajhőmérséklet 2-4 cm hóborítottság esetén [$^{\circ}\text{C}$]	3. eset korrelációanalízise	Léghőmérséklet 0 cm hóborítottság esetén [$^{\circ}\text{C}$]	Talajhőmérséklet 0 cm hóborítottság esetén [$^{\circ}\text{C}$]
Léghőmérséklet 35 cm hóborítottság esetén [$^{\circ}\text{C}$]	1		Léghőmérséklet 2-4 cm hóborítottság esetén [$^{\circ}\text{C}$]	1		Léghőmérséklet 0 cm hóborítottság esetén [$^{\circ}\text{C}$]	1	
Talajhőmérséklet 35 cm hóborítottság esetén [$^{\circ}\text{C}$]	0.289596475	1	Talajhőmérséklet 2-4 cm hóborítottság esetén [$^{\circ}\text{C}$]	0.579162157	1	Talajhőmérséklet 0 cm hóborítottság esetén [$^{\circ}\text{C}$]	0.805905317	1

4. ÖSSZEGRZÉS

A hóborítottság megléte, vastagsága és minősége alapján kiválasztott periódusok reprezentativitása megfelelőnek bizonyult a hótakaró felszínközeli talajrétegre tett vizsgálatának elvégzésére. A 35 cm-es (1. eset), 2-4cm-es (2. eset) és hótakaró mentes időszakok (3. eset) vizsgálata a Bükk-fennsíki Mohos-töbör hideg mikroklímájának tükrében a T(2 m) és a T(s)(-5 cm) együttlváltozásának mértéke jól nyomonkövethető a hatótényezők hatványozott jelenlétének köszönhetően. Az 1.esetben (hótakaró=35cm) a T és a T(s) szélsőértékei között 31,6°C, a 2. esetben (hótakaró=2-4 cm) 27,2°C míg a 3.esetben (hótakaró=0 cm) 22,4°C-os különbség állt fenn. Az 1.eset -28,2°C-os T-min.-jének napján a T(s)-min. -2,2°C, a 2. eset -24,9°C-os T-min.-jének a napján a T(s)-min. -2,7°C, míg szintén a 2. eset végén, degradált hótakaró esetén, T-min -18,6°C mellett a T(s)-min -6,2°C volt. A 3.esetben a napi T-min.=4,1°C mellett a T(s)-min.=7,9°C volt. Így az 1. esetben a legalacsonyabb T és az ugyanarra a napra vonatkozó T(s) különbsége 26°C, a 2.esetben 18,2°C míg a 3. esetben 12°C. Az 1.esetben a T és a T(s) korrelációja korrel=0,29, a 2. esetben korrel=0,58, a 3.esetben korrel=8,1. A cikk által vizsgált legalacsonyabb T(s)-min (-6,2°C) beálltának napi T-min.-je (-18,6°C) 9,6°C-al magasabb, mint az abszolút T-min. (-28,2°C). A hótakaró mennyiségi és minőségi jelenlétének jelentősége a talaj felső, leginkább kitett rétegeinek szempontjából így több szempontból is megerősíthető.

A T(s) szabályos napi, léghőmérséklethez igazodó hőjárása kizárólag hótakarómentes időszakok diagramján tűnik fel. Az adott minőségű hótakaró a vizsgált esetekben a töbrön belüli inverz módú légrétegződéses helyzetek stabil jelenléte esetén a T(s) lépcsőzetes vagy konstans hűlését eredményezte. Legfeljebb rövid, időszakos, kevésbé jelentős emelkedések törték meg a T(s) görbe csökkenését. A talajfagy jelentősége a hótakaró elolvadása után válik meghatározóvá. A 2.eset jól példázza, hogy a vizsgált mélységben a talajhőmérséklet a hóolvadást követő időszakban, 600 000 J/m²-es napi besugárzási csúcserkékek mellett sem mozdul el a T(s)=0°C közeléből. A talajfagy, annak felengedéséig képes puffferolni az energiainputot és a fagypon feletti léghőmérsékleti értékeket. A talajfagy megszűnésével a töbör mikroklímarendszeréből adódó szélsőségesen magas hőingásnak kitett felszínközeli talajréteg a be-, és kisugárzási viszonyok hatására, késleltetve követi a léghőmérséklet napi járását. A töbrökön belül a talajhőmérséklet hőmérsékletiének térbeli eloszlását nagyban befolyásolja még a kitettség és az önárnyékos periódusok időtartama. Kis területen belül jelentős (~30°C) különbségek is lehetnek a felszín hőmérsékletében, a beérkező napsugárzás domborzati alapon eltérő szöge és időtartama miatt.

A tanulmány eredményei tovább bővítik a Mohos-töbörhöz hasonló mikroklímarendszerekben jelenlévő interakciókról szerzett ismeretanyagunkat. Rávilágítanak a szezonális hóborítottság lokális klímabefolyásoló tényezőkre tett módosító hatásának jelentőségére és azok fizikai kapcsolatára az ökológiai és mezőgazdasági szempontból fontos, kitett, felszínközeli talajrétegekkel.

5. Köszönetnyilvánítás

Szeretnék köszönetet mondani a Miskolci Egyetem, Föl drajz-Geoinformatika Intézet tanszékvezetőjének, Dr. Dobos Endrének, hogy tanszéke a monitoringrendszer több fontos elemét is biztosítja. Továbbá a Bükki Nemzeti Parknak, hogy a folyó kutatást az igazgatóság területén támogatják, engedélyezték.

6. IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] Beltrami, H. (2001): On the relationship between ground temperature histories and meteorological records: a report on the Pomquet station. *Global and Planetary Change*, 29(3-4), 327-348.
- [2] Decker, K. L. M., Wang, D., Waite, C., & Scherbatskoy, T. (2003): Snow removal and ambient air temperature effects on forest soil temperatures in northern Vermont. *Soil Science Society of America Journal*, 67(4), 1234-1242.
- [3] Dobos, A., Dobos, E. (2023/b): Légköri események hatása az inverziós légrétegződésre a Bükk-fennsíki Mohos-töbör eseti példán keresztül: The impact of meteorological events on the development of temporal inversion in the Mohos sinkhole, Bükk Plateau. *Bányászati, Kohászati és Földtani Konferencia*, 70-75.
- [4] Dorninger, M., Whiteman, C. D., Bica, B., Eisenbach, S., Pospichal, B. és Steinacker, R. (2011): Meteorological Events Affecting Cold-Air Pools in a Small Basin. *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 50:2223–2234
- [5] Goodrich, L. E. (1982): The influence of snow cover on the ground thermal regime. *Canadian geotechnical journal*, 19(4), 421-432.
- [6] Mackiewicz, M. C. (2012): A new approach to quantifying soil temperature responses to changing air temperature and snow cover. *Polar Science*, 6(3-4), 226-236.
- [7] Sokratov, S. A., & Barry, R. G. (2001): Parameterization of an intra-seasonal variation in the thermo-insulation effect of snow cover on soil temperatures and energy balance. National Snow and Ice Data Center.
- [8] Steinacker, R., Whiteman, C. D., Dorninger, M. B., Pospichal, S., Eisenbach, A. M., Holzer, P., Weihs, E., Mursch-Radlgruber, A. és Baumann, K. (2007): A Sinkhole Field Experiment In The Eastern Alps. *Bulletin of the American Meteorological Society* 88(5):701-716
- [9] Thorn, C. E., Schlyter, J. P. L., Darmody, R. G., & Dixon, J. C. (1999): Statistical relationships between daily and monthly air and shallow-ground temperatures in Kärkevagge, Swedish Lapland. *Permafrost and Periglacial Processes*, 10(4), 317-330.
- [10] Zhang, T. (2005): Influence of the seasonal snow cover on the ground thermal regime: An overview. *Reviews of Geophysics*, 43(4).